

Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya Menggunakan Struktur Beton Bertulang dengan Sistem *Outrigger* dan *Belt-Truss*

Faimun, Tavio dan Fauzan Kurnianto

Departemen Teknik Sipil, Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: tavio@ce.its.ac.id

Abstrak—Gunawangsa Tidar Surabaya memiliki 3 buah tower dengan 37 lantai pada setiap tower-nya. Dengan ketinggian hingga ± 115 meter dan struktur bangunan yang langsing, simpangan yang terjadi akibat beban lateral cenderung berlebihan. Untuk mengatasi masalah tersebut, bangunan perlu dimodifikasi agar performa bangunan dalam menahan beban lateral lebih baik lagi. Namun jika sistem struktur yang biasa dipertahankan, dimensi elemen struktur yang dibutuhkan akan menjadi lebih besar dan mengurangi ruang. Maka diperlukan alternatif solusi untuk mengurangi simpangan yang terjadi tanpa memperbesar dimensi elemen struktur yang sudah ada. Dengan mempertahankan dimensi elemen struktur beton yang sudah ada, bangunan dimodifikasi menggunakan sistem *outrigger* dan *belt-truss*. Sistem *outrigger* dan *belt-truss* efektif dalam meningkatkan kekakuan bangunan. Balok *outrigger* dipasang menghubungkan *corewall* dan kolom eksterior. Sedangkan *belt-truss* dipasang menghubungkan antar kolom eksterior. Sehingga masalah simpangan yang berlebihan akibat beban lateral dapat teratasi. Dari hasil perencanaan diketahui simpangan lantai terbesar terletak pada hampir setengah dari total ketinggian bangunan. Maka balok *outrigger* dan *belt-truss* dipasang di ketinggian tersebut, tepatnya pada lantai 22. Dimensi balok *outrigger* dan *belt truss* adalah 400×2000 mm. Dan dari analisa menggunakan program bantu Extract didapat nilai daktilitas kolom *outrigger* sebesar 6,76. Dengan demikian nilai koefisien reduksi untuk gempa ($R=5$) yang digunakan sebagai perencanaan beban gempa sudah memenuhi.

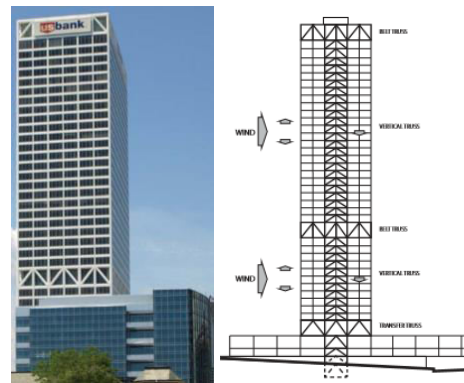
Kata Kunci—*Belt-truss*, Extract, Gempa, *Outrigger*, Struktur Beton.

I. PENDAHULUAN

Gunawangsa Tidar adalah apartemen yang mengusung konsep *Mix Use High-Rise Building*. Apartemen yang terletak di Jalan Tidar no. 350 Surabaya ini menyediakan unit – unit Hunian, Hotel bintang 4, Komersial, Bisnis, dan fasilitas yang lengkap. Bangunan ini memiliki 3 buah tower dengan 37 lantai pada setiap tower-nya. Dengan ketinggian hingga ± 115 meter, bangunan dapat digolongkan sebagai bangunan bertingkat tinggi. Pada bangunan bertingkat tinggi, beban lateral menjadi lebih dominan. Karena struktur bangunan yang tinggi dan langsing, maka simpangan yang terjadi akibat beban lateral cenderung berlebihan. Sehingga dapat mengurangi kenyamanan penghuni didalamnya.

Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan modifikasi struktur bangunan. Dengan mempertahankan struktur beton bertulang dan dimensi yang sudah ada, bangunan dimodifikasi menggunakan sistem *outrigger* dan *belt-truss*. Sistem *outrigger* bekerja ketika dikenai beban lateral, kolom eksterior yang terhubung balok *outrigger* menahan rotasi pada *corewall*, menyebabkan simpangan lateral dan momen pada *corewall* menjadi lebih kecil [1]. Sedangkan peran dari *belt-truss* adalah sebagai pengaku, dimana sistem *outrigger* yang menggunakan *belt-truss* memiliki simpangan lebih kecil daripada sistem *outrigger* tanpa *belt-truss* [1]. Sehingga simpangan bangunan dapat diminimalkan atau bahkan dihilangkan. Hal ini sesuai dengan Ali dan Moon [2] yang menyatakan bahwa masalah

kemampuan layan seperti simpangan lateral, getaran lantai, dan kenyamanan pengunjung pada gedung bertingkat tinggi perlu diberi perhatian lebih.



Gambar 1. U.S. Bank Center, Wisconsin [3].

Contoh bangunan yang menggunakan sistem *outrigger* dan *belt-truss* adalah U.S. Bank Center dapat dilihat pada Gambar 1. Dibandingkan dengan sistem penahan momen seperti Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dan sistem penahan momen berpengaku yang juga berfungsi sebagai penahan beban lateral atau yang biasa disebut Sistem Rangka Bresing (SRB), sistem *outrigger* dan *belt-truss* memiliki performa yang lebih baik meskipun dimensi struktur yang digunakan lebih kecil [4]. Dengan jumlah lantai yang sama, biaya pelaksanaan bangunan yang menggunakan *outrigger* relatif lebih murah dibandingkan bangunan tanpa *outrigger* meskipun waktu pelaksanaannya sedikit lebih lama [5].

Artikel ini akan membahas desain modifikasi struktur gedung apartemen gunawangsa tidar surabaya menggunakan struktur beton bertulang dengan sistem *outrigger* dan *belt-truss*. Bangunan akan dimodifikasi yang semula simpangan bangunan tidak memenuhi syarat SNI [6] kemudian dipasang balok *outrigger* hingga simpangan bangunan memenuhi syarat SNI [6]. Selain itu juga dilakukan perhitungan nilai daktilitas struktur dengan pendekatan tertentu. Dimana akan ada kaitannya dengan koefisien reduksi (R) untuk mendesain beban gempa yang mana untuk sistem *outrigger* dan *belt-truss* ini tidak disebutkan secara spesifik di SNI [6]. Sehingga didapat hasil desain yang baik dan benar sesuai dengan syarat SNI [6][7][8] dan peraturan – peraturan lain yang terkait [9][10][11].

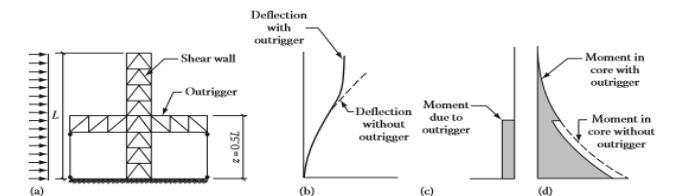
II. LANDASAN TEORI

A. Sistem *Outrigger* dan *Belt-truss*

Keindahan dan efisiensi dari sistem *outrigger* telah tercatat dengan baik dalam sejarah. Sistem ini juga menjadi salah satu kunci dalam mendesain sistem yang efisien dan ekonomis dalam bangunan bertingkat tinggi [12]. Sistem *outrigger* bekerja ketika dikenai beban lateral, kolom luar yang terhubung balok *outrigger* menahan rotasi pada kolom inti, menyebabkan simpangan lateral dan momen pada kolom inti

menjadi lebih kecil [1]. Sedangkan *belt-truss* berfungsi sebagai pengaku horisontal yang mengikat kolom luar untuk ambil bagian dalam menahan rotasi yang terjadi pada kolom inti. Penggunaan *belt-truss* dapat meningkatkan kekakuan bangunan hingga sebesar 25% - 35% [12]. Sehingga sistem *outrigger* dan *belt-truss* biasanya digunakan sebagai salah satu sistem struktural untuk mengontrol simpangan yang berlebihan akibat beban lateral, baik akibat beban gempa maupun beban angin. Untuk bangunan bertingkat tinggi yang terletak di zona gempa aktif atau beban angin dominan, sistem ini dapat dipilih sebagai sistem struktur yang tepat [13].

Sistem *outrigger* dan *belt-truss* akan bekerja secara efektif bergantung letak dari *outrigger* tersebut dipasang. Selain tata letak, jumlah dari *outrigger* yang dipasang juga berpengaruh pada kemampuan bangunan dalam menahan beban lateral. Gambar 2 adalah contoh dari bentuk defleksi dan momen yang terjadi pada struktur yang menggunakan sistem *outrigger*. Bentuk defleksi dan momen yang terjadi bervariasi sesuai dengan tata letak dari balok *outrigger*.



Gambar 2. (a) *Outrigger* pada 1/2 ketinggian bangunan (b) bentuk defleksi (c dan d) diagram momen [11].

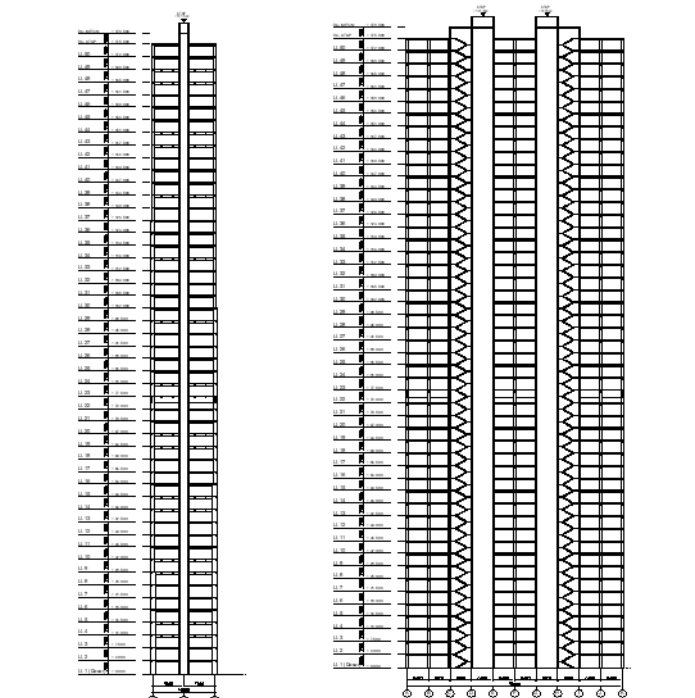
B. Daktilitas Struktur dan Faktor Reduksi (R)

Untuk struktur dengan sistem *outrigger* dan *belt-truss* nilai koefisien reduksi gempa (R) tidak dijelaskan secara spesifik pada SNI [6]. Dimana nilai R ada kaitannya dengan daktilitas suatu struktur bangunan. Semakin besar nilai R maka gaya gempa semakin kecil namun daktilitas yang disediakan struktur semakin besar, begitu pula sebaliknya. Untuk perencanaan ini akan digunakan $R = 5$ dengan detailing rangka menggunakan SRPMM. Setelah didapat hasil akhir berupa dimensi elemen struktur dan detailing penulangan, akan dicek nilai daktilitas elemen struktur menggunakan program bantu Extract. Elemen struktur yang akan dianalisis daktilitasnya adalah kolom eksterior, karena dianggap yang paling kritis.

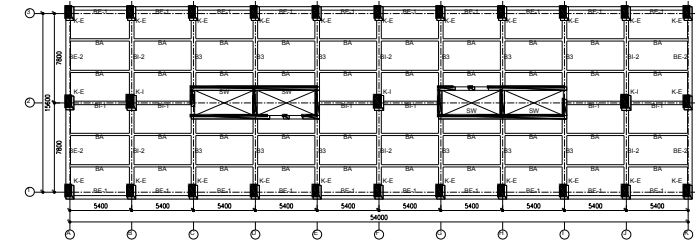
III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Bangunan yang ditinjau

Pada perencanaan ini bangunan yang ditinjau adalah Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya. Bangunan dimodifikasi menjadi 50 lantai dengan ketinggian ± 178,5 m seperti pada Gambar 2 dan denah dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampak Potongan Apartemen Gunawangsa Tidar



Gambar 4. Denah Apartemen Gunawangsa Tidar.

Dari Gambar 3 dan Gambar 4 digunakan dimensi elemen struktur:

1. Balok

Baik balok anak maupun balok induk menggunakan mutu beton $f'c = 30$ Mpa dengan dimensi seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi dimensi balok			
Tipe	Bentang (m)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)
BI-1	5,4	30	40
BI-2	7,8	40	60
BA	5,4	20	35
BL	5,4	30	40

2. Pelat

Pelat menggunakan mutu yang sama dengan balok, yaitu $f'c = 30$ Mpa. Hal ini bertujuan untuk memudahkan ketika proses pelaksanaan.

- Pelat lantai dan atap (t)= 120 mm
- Pelat tangga (t)= 150 mm

3. Kolom

Pada Apartemen Gunawangsa Tidar ini dimensi kolom dibedakan setiap 7 lantai. Sehingga dimensi kolom dapat dikelompokkan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi dimensi kolom						
Kolom (Tingkat Lantai)	L (m)	f'c (Mpa)	Interior		Exterior	
			b (mm)	h (mm)	b (mm)	h (mm)
1	4	50	800	1300	700	1200
2 - 8	3,5	50	700	1150	700	1200
9 - 15	3,5	50	600	1000	700	1100
16 - 22	3,5	50	500	900	700	1000
23 - 29	3,5	40	500	800	650	900
30 - 36	3,5	40	500	700	600	800
37 - 43	3,5	40	500	600	550	700
44 - 50	3,5	40	500	500	500	600

D. Shearwall

Digunakan *shearwall* dengan tebal 300 mm dan mutu beton $f'c = 50$ Mpa.

4. Balok tinggi
Digunakan balok tinggi dengan dimensi 400 x 2000 mm dan mutu beton $f'c = 35$ Mpa.
5. Struktur Sekunder
Struktur sekunder adalah elemen struktur yang direncanakan hanya memikul beban ultimit akibat gravitasi saja, tanpa meninjau beban gempa. Hasil perencanaan struktur sekunder seperti yang disajikan poin A dan poin B.
6. Pelat
Rekapitulasi hasil penulangan pelat ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3.
Rekapitulasi penulangan pelat lantai dan atap

	Tumpuan X	Lapangan X	Tumpuan Y	Lapangan Y
Tebal pelat (mm)	120	120	120	120
Tulangan utama	D10 - 240	D10 - 240	D10 - 240	D10 - 240
Tulangan bagi	Ø8 - 300	-	Ø8 - 300	-

Tabel 4.
Rekapitulasi penulangan pelat tangga dan bordes

Tebal pelat (mm)	150
Tulangan utama	D13 - 200
Tulangan bagi	Ø8 - 300

7. Balok
Rekapitulasi hasil penulangan balok yang meliputi balok anak, balok lift, dan balok tangga ditunjukkan pada Tabel 5.

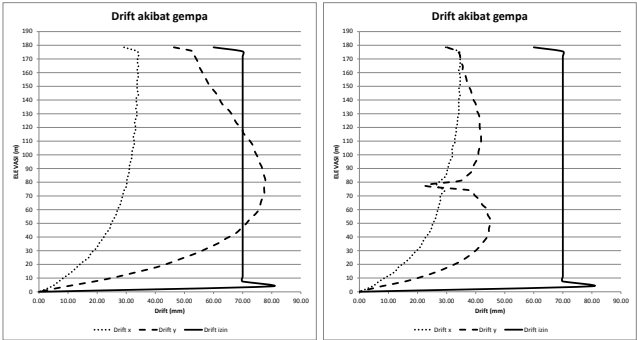
Tabel 5.
Rekapitulasi penulangan balok

Balo k	Dimensi		Lentur				Geser
	b (m)	h (m)	Tumpuan (+)	Tumpuan (-)	Lapangan (+)	Lapangan (-)	
Anak	200	350	5 D16	2 D16	2 D16	3 D1	D10-140
Lift	300	400	6 D19	2 D19	2 D19	3 D1	D10-170
Tangga	300	350	2 D16	2 D16	2 D16	2 D1	D10-140

B. Analisa Struktur

Hasil analisa struktur perlu dikontrol sesuai syarat pada SNI [6]. Hal tersebut dilakukan untuk meninjau kelayakan struktur dalam memikul beban yang bekerja. Berikut ini adalah kontrol – kontrol yang dilakukan terhadap hasil analisa struktur:

- Berat sendiri bangunan
 $W_{\text{manual}} = 64064513,34$ Kg
 $W_{\text{ETABS}} = 65718472,12$ Kg
Sehingga didapat selisih W_{manual} dan W_{ETABS} sebesar 2,52%
- Jumlah respons ragam
Pada mode ke-17 syarat partisipasi sebesar $\geq 90\%$ telah terpenuhi. Dengan arah-X 92% dan arah-Y 95%
- Perioda struktur dan skala gaya gempa
Untuk prosedur desain didapat:
 $T_{cx} = 4,637$ detik dan $T_{cy} = 11,905$ detik dengan skala gaya gempa $V_{dx} = 1,54$ dan $V_{dy} = 2,75$
Untuk prosedur kontrol simpangan didapat:
 $T_{cx} = 8,128$ detik dan $T_{cy} = 11,905$ tanpa skala gaya.
- Simpangan antar lantai



(a)

(b)

Gambar 5. Simpangan antar lantai akibat gempa

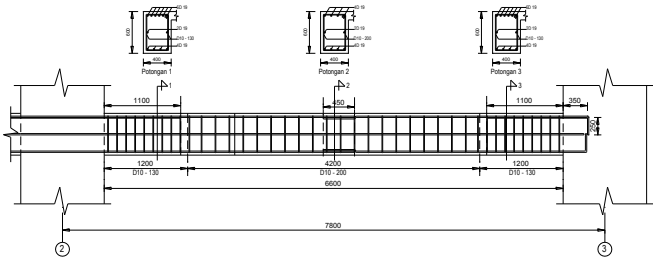
Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5 (a) adalah grafik simpangan antar lantai sebelum menggunakan sistem *outrigger*. Dimana simpangan arah Y melebihi batas simpangan ijin. Gambar 5 (b) adalah grafik simpangan antar lantai setelah menggunakan sistem *outrigger*. Simpangan arah Y yang sebelumnya melebihi ijin, setelah menggunakan sistem *outrigger* simpangan menjadi memenuhi ijin, baik arah X maupun arah Y.

C. Struktur Primer dan Outrigger

Struktur primer/struktur utama berfungsi untuk menahan beban gravitasi dan beban lateral. Sedangkan *outrigger* berfungsi menambah kekakuan bangunan. Hasil perencanaan yang ditunjukkan pada poin A – poin D dan harus dipastikan memenuhi syarat yang tercantum pada SNI [6].

1. Balok induk

Didapat contoh sket penulangan balok induk seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Sket penulangan balok induk As. 2-A;3-A Lt.2

Tulangan dipasang 1 lapis, sebanyak 4 buah, maka cek jarak tulangan:

$S = \frac{b_w - 2s - N.D - 2.D}{N - 1} \geq 25 \text{ mm}$

$S = \frac{400 - 2.40 - 4.19 - 2.10}{4 - 1} \geq 25 \text{ mm}$

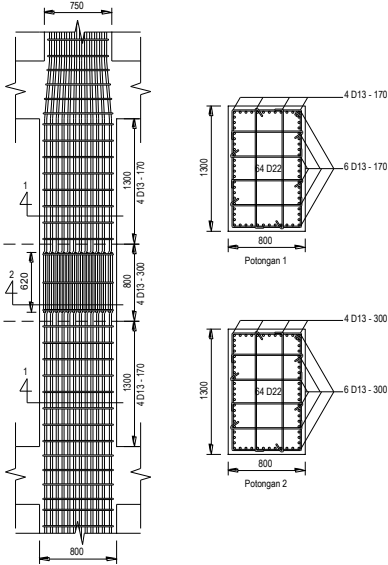
$S = 74,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Okay)}$

Panjang penyaluran tulangan berkait:

$l_{dh} = \frac{0,24 \times f_y \times db}{\sqrt{f_c}} = \frac{0,24 \times 420 \times 19}{\sqrt{30}} = 349,66 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$

2. Kolom

Didapat contoh sket penulangan kolom seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Sket hasil perhitungan tulangan kolom As. 2-B

- Cek batas tulangan komponen tekan:
 $1\% < 2,38\% < 8\%$ (Okay)
- Cek batas spasi bersih tulangan:
 $33,94 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ (Okay)

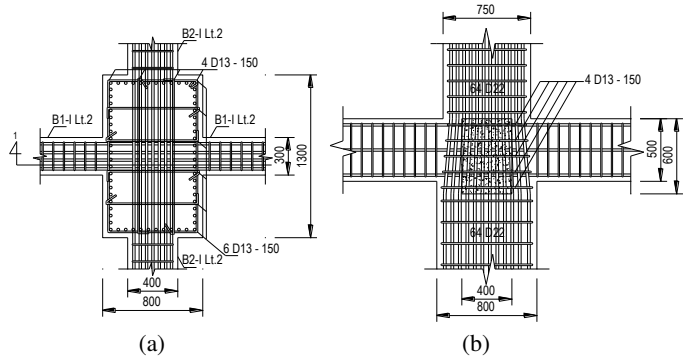
Panjang sambungan lewatan:

$l_d = \left(\frac{420}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{50}} \times \frac{1 \cdot 1 \cdot 1}{2,5} \right) \times 22 = 475,18 \text{ mm}$

Karena seluruh tulangan pada panjang lewatan disambung, maka sambungan lewatan termasuk kelas B. Sehingga panjang penyaluran untuk kelas B adalah:
 $1,3 l_d = 1,3 \times 475,18 = 617,73 \text{ mm} \approx 620 \text{ mm}$

3. HBK (Hubungan Balok – Kolom)

Didapat contoh sket penulangan hubungan balok – kolom seperti pada Gambar 8. Dimana Gambar 8 (a) menunjukan tampak atas dari HBK, sedangkan Gambar 8(b) menunjukan dari potongan 1 HBK.



Gambar 8. Sket penulangan HBK

Kebutuhan tulangan geser:

$0,5 \times \frac{A_{sh}}{s} = 0,5 \times \frac{441,875}{175} = 1,263 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Dipakai 4 D13, $A_{sh} = 441,875 \text{ mm}^2$

$s = \frac{441,875}{1,263} = 350 \text{ mm}^2$

Syarat:

$s < 150 \text{ mm}$

$350 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \text{ (Not Okay)}$

➔ Maka digunakan 4 D13 – 150

Cek:

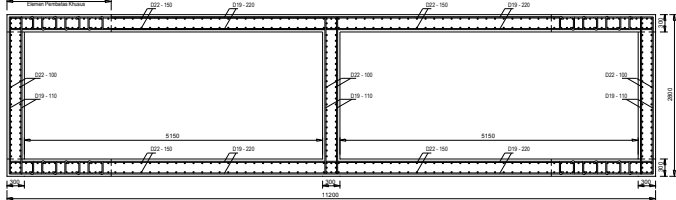
$\phi \cdot V_n > V_u$

$0,75 \times 12501,6 > 1209,48 \text{ kN}$

$9376,24 \text{ kN} > 1209,48 \text{ kN} \text{ (Okay)}$

4. Shearwall

Pada sistem outrigger digunakan *corewall* sebagai pusat dari struktur, dimana *corewall* didesain menggunakan elemen *shearwall*. Didapat contoh sket penulangan *shearwall* seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Sket hasil perhitungan tulangan *shearwall*

Cek batas minimum tulangan transversal::

• Dinding arah X

$P_t = \frac{A_v}{t \times s} = \frac{567,06}{300 \times 220} = 0,0086 > 0,0025 \text{ (Okay)}$

• Dinding arah Y

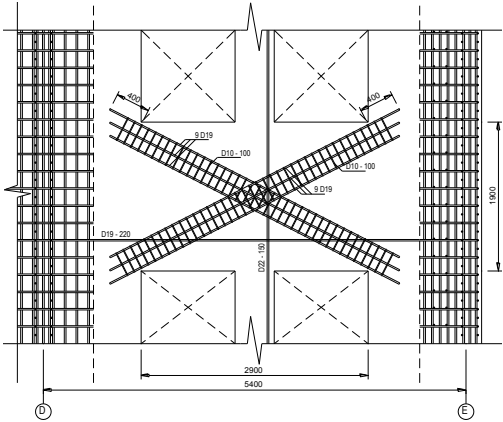
$P_t = \frac{A_v}{t \times s} = \frac{567,06}{300 \times 110} = 0,0172 > 0,0025 \text{ (Okay)}$

Rasio tulangan longitudinal harus memenuhi:

$0,0149 > 0,0025 \text{ (Okay)}$

5. Couple beam

Dinding struktur yang memiliki bukaan harus dihubungkan menggunakan *couple beam*. Dimana ketika terjadi gempa sendi plastis direncanakan terlebih dahulu pada balok kopel sebelum dasar dinding mengalami sendi plastis. Didapat contoh sket penulangan *couple beam* seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Sket penulangan balok kopel As. D-E

persyaratan geometris balok kopel sebagai berikut:

• $\frac{l_n}{h} \geq 4 \rightarrow \frac{2900}{1900} \geq 4 \rightarrow 1,53 < 4 \text{ (Not Okay)}$

• $\frac{l_n}{h} \leq 2 \rightarrow \frac{2900}{1900} \leq 2 \rightarrow 1,53 < 2 \text{ (Okay)}$

$V_u \geq 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot A_{cw}$

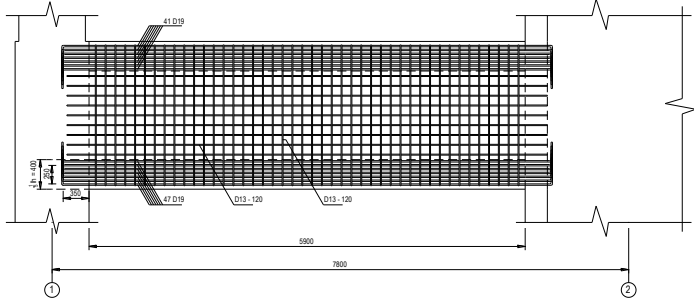
$2825901 \geq 0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \cdot (300 \times 1900)$

$2825901 \text{ N} > 1330067,86 \text{ N} \text{ (Okay)}$

Dari kedua syarat geometris tersebut maka diketahui balok kopel harus didesain dengan dua kelompok tulangan yang berpotongan ditempatkan secaradiagonal simetris terhadap tengah bentang.

6. Outrigger dan Belt-truss

Didapat contoh sket penulangan balok tinggi seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Sket penulangan balok tinggi As. 1-C;2-C

Dari hasil perhitungan didapat tulangan atas 41 D19 yang didistribusikan merata setinggi $1/5 h$ pada daerah tarik balok:
 $0,2 \times h = 0,2 \times 2000 = 400 \text{ mm}$

Kontrol jarak tulangan:

Tulangan dipasang 7 lapis, lapis 1-6 sebanyak 6 buah tulangan dan lapis ke-7 sebanyak 5 buah tulangan, maka:

Jarak antar tulangan tiap baris:

$S = \frac{b_w - 2s - N \cdot D - 2 \cdot D}{N - 1} \geq 25 \text{ mm}$

$S = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 6 \cdot 19 - 2 \cdot 13}{6 - 1} \geq 25 \text{ mm}$

$S = 36 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (Okay)}$

Jarak antar tulangan tiap lapis:

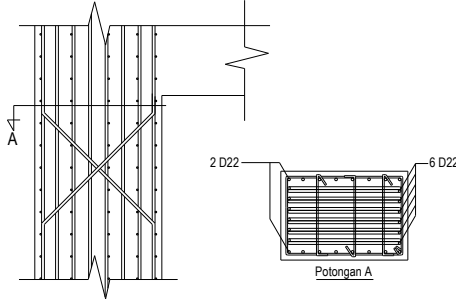
$S = \frac{b_w - s - N \cdot D - 2 \cdot D}{N - 1} \geq 25 \text{ mm}$

$S = \frac{400 - 40 - 6 \cdot 19 - 2 \cdot 13}{7 - 1} \geq 25 \text{ mm}$

$S = 33,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (Okay)}$

7. HBK outrigger – kolom eksterior

Didapat contoh sket penulangan HBK *outrigger* – kolom eksterior seperti pada Gambar 12.

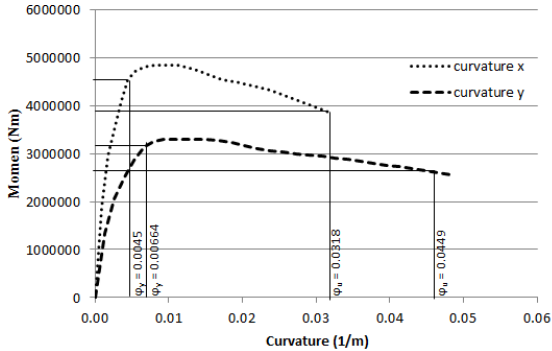


Gambar 12. Sket penulangan HBK outrigger – kolom

Kolom yang terhubung dengan balok outrigger akan menerima momen yang sangat besar. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dibuat tulangan silang pada kolom. Sehingga kolom berperilaku seperti sendi dan momen yang diterima kolom tidak terlalu besar. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 12 dimana 6 tulangan tiap sisinya ditekuk bersebrangan dan 2 tulangan dibiarkan menerus.

8. Daktilitas Kolom Outrigger

Untuk mengetahui nilai daktilitas kolom outrigger menggunakan program bantu Xtract dengan dengan nilai – nilai yang diinput mengikuti pendekatan yang dijelaskan oleh Razvi dan Saatcioglu [14]. Atau bisa juga menggunakan pendekatan lain dengan penjelasan yang lebih jauh sesuai dengan literatur terkait [15][16][17]. Sehingga didapat output berupa garfik *curvature – momen* seperti pada Gambar 13.



Gambar 7. 10 Grafik hubungan momen – *curvature* kolom
Sehingga didapat nilai daktilitas:

- Arah-X
Kondisi leleh (*yield*):
 $\varphi_y = 0,0045 \text{ 1/m}$
 $M_x = 4536000 \text{ Nm}$
Kondisi 0,8 dari puncak (*ultimit*):
 $\varphi_u = 0,0318 \text{ 1/m}$
 $M_x = 3881600 \text{ Nm}$
Daktilitas:
 $\frac{0,0318}{0,0045} = 7,11$
 - Arah-Y
Kondisi leleh (*yield*):
 $\varphi_y = 0,00664 \text{ 1/m}$
 $M_y = 3140000 \text{ Nm}$
Kondisi 0,8 dari puncak (*ultimit*):
 $\varphi_u = 0,0449 \text{ 1/m}$
 $M_y = 2644800 \text{ Nm}$
Daktilitas:
 $\frac{0,0449}{0,00664} = 6,76$
- Sehingga nilai yang menentukan adalah daktilitas arah Y sebesar 6,76. Sehingga nilai $R = 5$ yang digunakan untuk mendesain beban gempa dianggap masih memenuhi.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil khususnya terkait Sistem *Outrigger* dan *Belt-Truss* yaitu sebagai berikut:

- Simpangan antar lantai untuk arah-Y melebihi batas ijin yang ditentukan sesuai dengan SNI. Maka dipasang Balok *Outrigger* dengan dimensi 400 mm x 2000 mm dan *Belt-Truss* dengan dimensi yang sama pada lantai tingkat 22. Setelah dilakukan analisa ulang dengan Sistem *Outrigger* dan *Belt-Truss*, simpangan antar lantai dapat memenuhi syarat SNI.
- Nilai daktilitas Kolom *Outrigger* adalah sebesar 6,76 yang mana lebih besar dari koefisien reduksi gempa (R) yang direncanakan sebesar 5. Sehingga daktilitas bangunan (khususnya Kolom *Outrigger*) dengan koefisien $R=5$ dapat terpenuhi.
- Untuk hasil perencanaan lebih detail di lampirkan dalam bentuk gambar perencanaan.

V. SARAN

Saran yang bisa diberikan berdasar hasil analisa adalah diperlukan studi lebih lanjut berkaitan dengan daktilitas struktur yang menggunakan sistem *outrigger* dan *belt-trus*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] P. R. Nanduri, B. Suresh, and M. I. Hussain, "Optimum Position of Outrigger System for High-Rise Reinforced Concrete Buildings Under Wind And Earthquake Loadings," *Am. J. Eng. Res.*, pp. 76–89, 2013.

[2] M. Ali and K. S. Moon, "Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects," *Archit. Sci. Rev.*, pp. 205–223, 2007.

[3] H. Choi, G. Ho, L. Joseph, and N. Mathias, "Outrigger Design for High-Rise Building: An output of the CTBUH Outrigger Working Group," Chicago, 2012.

[4] M. Gazali and D. Iranata, "Studi Perbandingan Perilaku Bangunan Menggunakan SRPM, SRBK, dan SRBK Menggunakan Outrigger Terhadap Variasi Tinggi Gedung," *J. POMITS*, vol. 1, no. 2, 2012.

[5] Y. Syahriar, M. Mukarrom, D. Iranata, and T. W. Adi, "Analisis Perbandingan Efektifitas Struktur Gedung dengan Menggunakan Shearwall dan Kombinasi Antara Shearwall-Outrigger," *J. POMITS*, vol. 1, no. 1, 2012.

[6] Badan Standarisasi Nasional, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)," Jakarta, 2012.

[7] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 2847-2013 : Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung," Jakarta, 2013.

[8] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain," Jakarta, 2013.

[9] American Society of Civil Engineers, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures," Reston, Virigina, 2010.

[10] Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, "Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung," Bandung, 1983.

[11] Derpartemen Pekerjaan Umum, "Peraturan Beton Bertulang Indonesia," Bandung, 1971.

[12] B. S. Taranath, *Structural Analysis and Design for Tall Buildings*. Boca Raton: CRC Press, 2012.

[13] P. S. Kian and F. T. Siahaan, "The Use of Outrigger and Belt-Truss System for High-Rise Concrete Buildings," *Dimens. Tek. Sipil*, pp. 36–41, 2001.

[14] S. Razvi and M. Saatcioglu, "Confinement Model for High-Strength Concrete," *J. Struct. Eng.*, pp. 281–289, 1999.

[15] R. Park and T. Paulay, *Reinforced Concrete Structures*. Christchurch: Wiley-Interscience, 1974.

[16] T. Paulay and M. Priestley, *Seismic Design of Seismic of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. Canada: John Wiley & Sons, 1992.

[17] M. Priestley, G. Calvi, and M. Kowalsky, *Displacement-Based Seismic Design of Structures*. Pavia: IUSS Press, 2007.